

# Rapport sur le programme de navettes spatiales Américaines



Par Aymane SEGNIDI et Axel VARENNE.

Sciences et Systèmes Spatiaux

## Sommaire

Introduction : Présentation du programme	3
I – Les différents objectifs de mission	4
II – Caractéristiques techniques de la navette	
1) Architecture de l'orbiteur	5
2) Systèmes de propulsion	10
3) Analyse des accidents	12
III – Déroulement d'une mission	
1) Lancement et mise sur orbite	15
2) Opérations sur orbite	15
3) Rentrée en atmosphère et atterrissage	16
4) Opérations de maintenance	16
Conclusion : Bilan du programme	18
Bibliographie	19

## Introduction : Présentation générale du programme

A la fin des années 60, confronté au coût des missions Apollo qui nécessitent une fusée par lancement, le gouvernement Américain décide de retirer son soutien à ce programme. La NASA dédie alors ses ressources à un nouveau programme spatial qui lui permettrait d'effectuer des mission en orbite basse à intervalles de temps réguliers et pour des coûts moins importants. Le concept retenu est celui d'un véhicule spatial réutilisable capable d'effectuer divers objectifs techniques ou scientifiques en orbite et de revenir intact sur Terre avec son équipage : la navette spatiale.

Six navettes sont construites au total dans le cadre du programme « Space Transportation System » (STS) : Enterprise, qui n'a pas été conçue pour aller dans l'espace mais n'a servi qu'à des tests d'approche et d'atterrissement en atmosphère, Columbia, Challenger, Discovery, Atlantis et Endeavour. Les navettes ont été initialement conçues pour opérer une centaine de vols chacune, sur une période d'environ 10 ans. Ces chiffres ont été revus à la baisse par la suite, et les navettes ont largement dépassé leur durée de vie estimée au lancement du programme. Au cours du programme, deux accidents catastrophiques ont eu lieu avec la perte d'une navette et de son équipage : la navette Challenger en 1986, et Columbia en 2003.

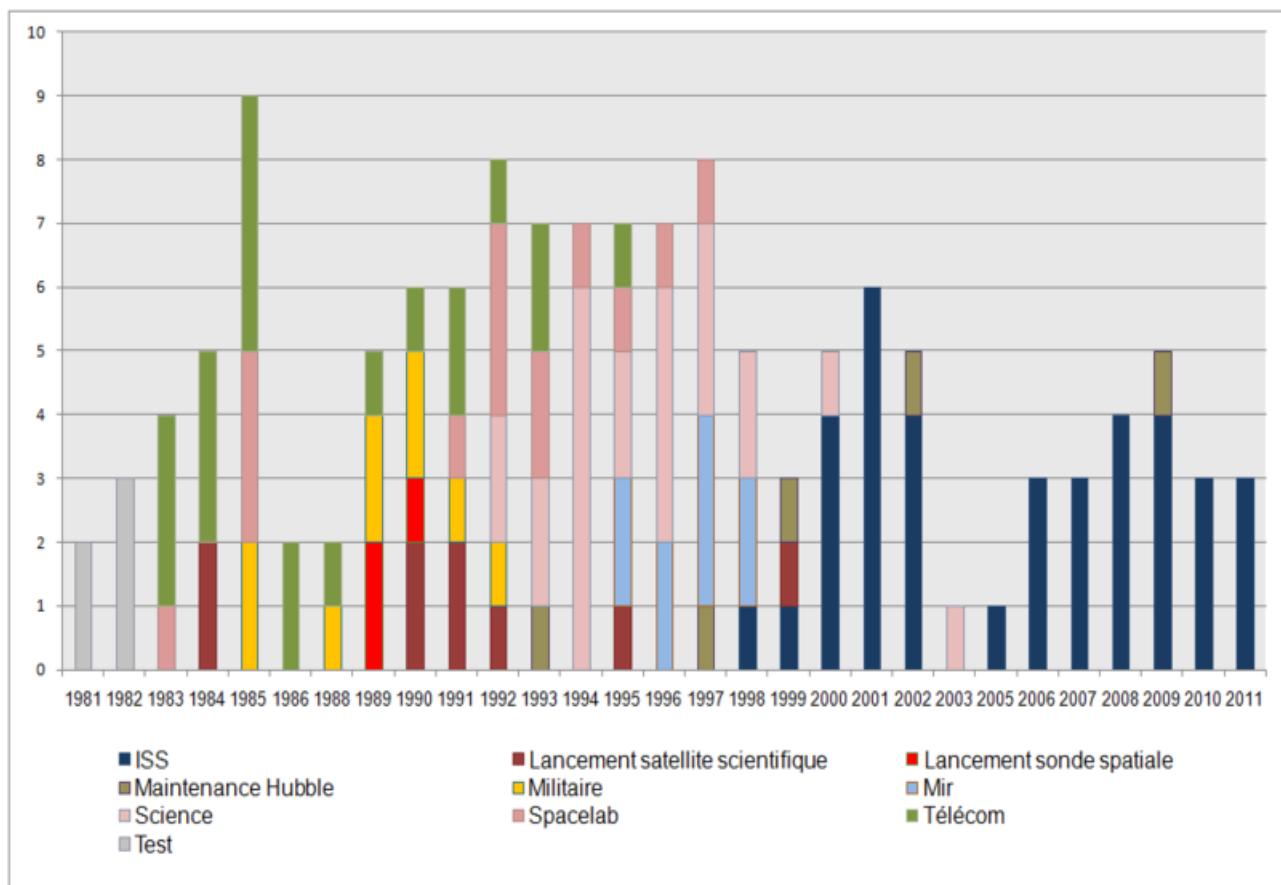
La navette spatiale américaine est le système spatial le plus polyvalent connu à ce jour : parce qu'elle a été conçue pour être partiellement réutilisable, elle a été pensée pour pouvoir effectuer toutes sortes d'opérations impliquant des chargements à mettre en orbite ou à ramener sur Terre, des missions de service sur des systèmes déjà en orbite, des expériences scientifiques à conduire dans un environnement sans gravité, ou encore la rencontre et l'échange d'équipements et d'équipages avec des stations spatiales.

En tant que premier véhicule spatial réutilisable opérationnel, la navette spatiale a eu à remplir divers objectifs techniques et scientifiques au cours de sa carrière qui seront présentés ici, puis les caractéristiques techniques du système, et enfin le déroulement des missions, seront étudiés.

## I – Les différents objectifs de mission

La navette spatiale étant un engin multi-fonctions, ses objectifs sont divers :

- Acheminement et assemblage des composants de la station spatiale internationale (ISS).
- Maintenance des systèmes spatiaux : réparation, ravitaillement et changement des équipages de l'ISS et de parfois de Mir.
- Lancement et mise en orbite de satellite en orbite basse, exemple notable : Télescope Hubble.
- Réalisation d'expériences scientifiques en microgravité grâce au module Spacelab, remplacé en 2002 par le module Spacehab.



*Nombre de missions par type et par année*

On peut constater qu'au début du programme, l'objectif principal du programme était de mettre en orbite des satellites et sondes spatiales, ainsi que des expériences scientifiques. Puis, au fil des années, lorsque la NASA s'est rendu compte du coût et du rendement du programme ainsi que de l'impossibilité de tenir les objectifs de fréquence de lancement, sans compter les accidents de navettes, il a été décidé que le programme serait arrêté une fois l'ISS construite. Ce qui est la raison du grand nombre de mission ISS et de l'absence de lancement de satellites et de sondes. L'absence de missions en 1987 et 2004 est dû à la désintégration des navettes Challenger en 1986 et Columbia en 2003, et à leurs répercussions.

## II – Caractéristiques techniques de la navette

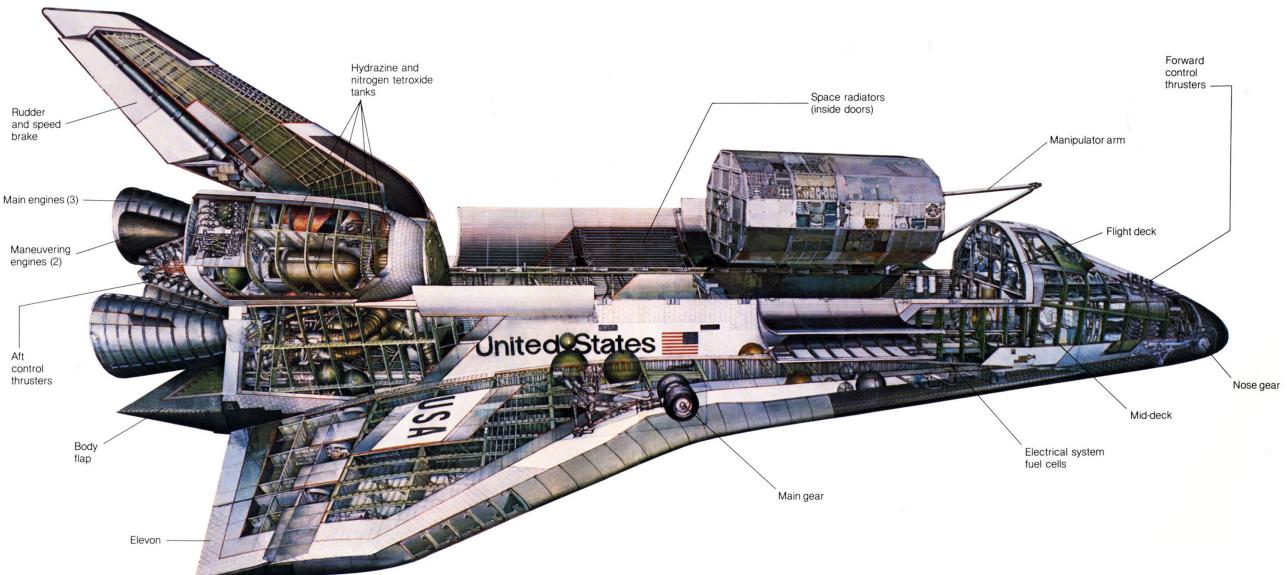
Pour répondre aux exigences du programme, c'est-à-dire le développement d'un système spatial multi-usages réutilisable, une architecture particulière a du être adoptée. Le système appelé « navette spatiale » est composé de quatre éléments : le véhicule spatial en lui-même, l'orbiteur, qui accueille l'équipage et la cargaison de mission, deux propulseurs d'appoint, également appelés « boosters », ainsi que le réservoir externe. L'orbiteur est la composante principale de la navette car il est occupé par l'équipage et la cargaison, et c'est lui seul qui est envoyé jusqu'en orbite. Les propulseurs d'appoint ne servent qu'au décollage et sont largués lorsque la navette est encore dans l'atmosphère pour être récupérés et réutilisés. Le réservoir externe est la seule partie non réutilisée de la navette car il est détruit lors de sa retombée en atmosphère après le décollage.

Dans cette partie on présentera en détail l'orbiteur et ses capacités, les systèmes de propulsion utilisés par la navette pendant le décollage et une fois en orbite, puis on analysera les accidents de Challenger et de Columbia.

### 1) Architecture de l'orbiteur

#### a) Structure et systèmes de l'orbiteur

Lors de l'étude d'un véhicule réutilisable, le concept retenu a été celui de l'avion spatial. Pour permettre le retour en atmosphère et un atterrissage en douceur, l'orbiteur doit adopter les propriétés d'un avion conventionnel. L'orbiteur a donc un fuselage allongé au nez arrondi, muni d'une paire d'ailes et d'un aileron arrière pour la stabilisation. Il dispose aussi d'un train d'atterrissage. La structure comprend un cockpit placé à l'avant pour une bonne visibilité lors des manœuvres d'approche et d'atterrissage et un train d'atterrissage. La superstructure de l'orbiteur est principalement composée d'alliages d'aluminium, et dans une moindre mesure de titane pour la structure contenant les moteurs principaux. Dans les orbiteurs les plus récents (Discovery, Atlantis, Endeavour) de l'époxy-graphite a été substitué à l'aluminium pour certains éléments, afin d'alléger l'orbiteur. Les ailes de l'orbiteur sont des ailes delta qui offrent une bonne portance ainsi qu'une bonne manœuvrabilité à basse vitesse.



*Schéma des composantes de l'orbiteur. On reconnaît facilement la forme d'un avion.*

L'avant de l'orbiteur est réservé à l'équipage, qui peut être constitué de deux à huit personnes (au minimum le commandant et le pilote). En règle générale une mission compte sept membres d'équipage : le commandant, le pilote, deux spécialistes de mission, et trois spécialistes de la charge utile. L'avant de l'orbiteur est séparé en plusieurs ponts pressurisés. On y trouve le poste de pilotage qui accueille le commandant, le pilote, et les spécialistes de mission. En dessous, relié au cockpit par des écoutilles, se trouve le pont intermédiaire où prennent place les spécialistes de la charge utile lors du décollage et de l'atterrissement, et qui sert de lieu de vie à tout l'équipage lors de la mission.

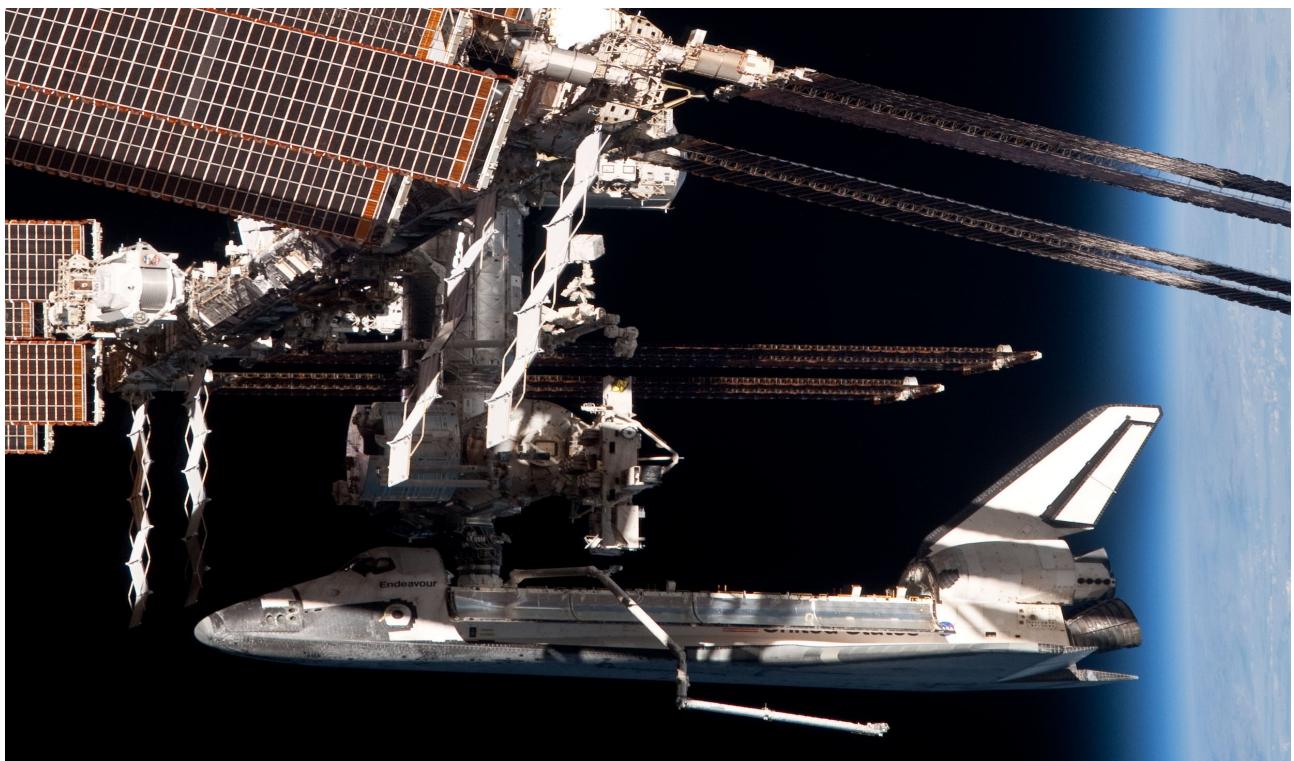
Parmi les systèmes embarqués par l'orbiteur on compte un système de commandes de vol électriques pour les manœuvres de retour en atmosphère et d'atterrissement, mais aussi pour toutes les manœuvres de contrôle d'attitude en orbite. De plus, l'orbiteur est équipé de cinq ordinateurs de bord identiques qui gèrent la plupart des fonctions du véhicule, et qui fonctionnent en parallèle lors des phases critiques de la mission (le décollage et l'atterrissement), c'est-à-dire que les ordinateurs sont assignés aux mêmes tâches simultanément pour s'assurer de la qualité des résultats obtenus, et qu'une décision ne peut être prise que si elle a été validée par la majorité des ordinateurs. Ces technologies, novatrices à l'époque, sont encore utilisées de nos jours dans les avions modernes. Enfin, la production d'électricité à bord est assurée par trois piles à combustibles à hydrogène-oxygène, qui sont aussi une source d'eau potable pour l'équipage.

Lors de certaines missions l'orbiteur emporte également un module d'assistance à la charge utile. Ces éléments, le Payload Assist Module ou encore le Inertial Upper Stage, sont en fait des étages supérieurs de systèmes spatiaux modulables dont on se sert pour expédier la charge utile encore plus profondément dans l'espace quand l'orbiteur lui-même ne peut pas atteindre l'altitude voulue. Ces modules sont transportés dans la soute avec la charge utile et libérés une fois

l'orbiteur en orbite, puis leurs propulseurs permettent au satellite libéré d'atteindre l'orbite désirée.

### b) La soute et le bras manipulateur

La partie centrale de l'orbiteur, entre la partie avant consacrée à l'équipage et les moteurs, est la baie cargo. C'est ce segment de l'orbiteur qui occupe le plus de place : la soute est un espace en forme de U d'une longueur de 18 mètres, de 5 mètres de large et de 4,6 mètres de haut. La baie cargo accueille la charge utile de la mission , qui peut atteindre une masse de 25000 kg : un ou des satellites à lâcher dans l'espace, ou encore un module Spacelab ou Spacehab consacré à des expériences scientifiques selon les objectifs de mission. La taille de la baie cargo, et par extension de la charge utile emportée, impliquent un mécanisme d'ouverture de la soute capable d'opérer des chargements et déchargements d'objets de grande taille : c'est pourquoi toute la partie supérieure de la baie cargo peut s'ouvrir afin de permettre la manipulation de la charge utile. La baie cargo contient également le sas que les astronautes empruntent lors des sorties extra-véhiculaires dans l'espace, et qui sert également à l'amarrage de l'orbiteur avec une station spatiale (Mir ou ISS).



*Endeavour raccordée à l'ISS. La soute est ouverte et on peut voir le bras manipulateur.*

Dans sa configuration Spacelab, la baie cargo est occupée par un module qui peut être constitué de plusieurs segments, selon les expériences que l'on veut conduire. La partie principale de Spacelab est le laboratoire pressurisé qui peut accueillir les scientifiques, et qui est placé à l'avant ou à l'arrière de la soute selon

la taille du module utilisé. L'accès à ce segment depuis la partie avant de l'orbiteur est assuré par un tunnel. De plus, d'autres segments appelés « palettes » peuvent être introduits dans la soute : ils contiennent des instruments que l'on veut exposer au vide pour des expériences, ou encore des instruments qui nécessitent un bon champ de vision, tels que des télescopes. Selon la nature des expériences conduites, la soute est ouverte pendant l'utilisation du module Spacelab.

Un des éléments importants de l'orbiteur est le bras manipulateur, aussi appelé « Canadarm » de par son développement par une entreprise Canadienne, monté dans la soute qui permet la manipulation d'objets volumineux dans l'espace. Ce bras articulé permet de manipuler avec précision la charge utile de l'orbiteur lors de sa mise en orbite, mais il rend aussi possible la récupération de systèmes déjà présents en orbite afin de les ramener sur Terre.

Le bras est constitué de trois segments pour une longueur totale d'environ 15 mètres. Ses articulations lui permettent six degrés de liberté : deux pour « l'épaule » qui relie le bras à l'orbiteur, un seul pour le « coude » qui fait la liaison entre le premier et le deuxième segment, et trois pour le « poignet » qui assure la mobilité de l'effecteur, qui est l'extrémité du bras qui manipule les objets. Ce bras s'est montré précieux dans le montage des différentes parties de la Station Spatiale Internationale, car il permet une manipulation précise des éléments à monter et facilite grandement l'assemblage. Le bras articulé est opéré depuis un poste de commande situé à l'arrière du cockpit, où le spécialiste qui manipule le bras dispose d'une vue sur la baie cargo et l'extérieur de l'orbiteur à travers plusieurs hublots.

Enfin, le bras peut aussi recevoir des composantes supplémentaires. Il peut servir de support aux astronautes lors de sorties extra-véhiculaires : en installant à l'extrémité une plate-forme sur laquelle l'astronaute peut fixer ses pieds, le bras apporte une plus grande stabilité à l'astronaute en dehors de l'orbiteur. Et il peut aussi accueillir l' « Orbital Boom Sensor System » : une perche de 15 mètres de long fixée au bout du bras munie de capteurs qui permettent d'inspecter l'extérieur de l'orbiteur, en particulier pour s'assurer de l'intégrité du bouclier thermique.



*Vue de la soute ouverte et du bras manipulateur lors d'une sortie extra-véhiculaire.*

### c) Le système de protection thermique

Lors de la manœuvre de retour en atmosphère, à cause des frottements et de la compression de l'air devant l'orbiteur due à la vitesse hypersonique de celui-ci, la température autour de l'orbiteur peut aller de plusieurs centaines de degrés jusqu'à 1650°C. Or la structure en aluminium de l'orbiteur ne résisterait pas à des températures plus élevées que 175°C. Il est donc nécessaire de protéger par une couche de matériau isolant les parties de la structure qui subissent un échauffement important. Sur d'autres systèmes spatiaux que la navette spatiale, on utilise plusieurs couches superposées d'un matériau ablatif qui subit l'échauffement à la place de la structure qu'il recouvre et se consume couche par couche. Mais cette solution n'est pas envisageable sur un système réutilisable.

Pour l'orbiteur on utilise des tuiles isolantes. Ces tuiles recouvrent le nez et les bords d'attaque des ailes et de l'aileron arrière, qui sont les parties qui subissent l'échauffement le plus intense, ainsi que tout la surface inférieure de l'orbiteur. Composées majoritairement de céramique de silice, qui offre un bon compromis entre résistance à la chaleur et légèreté, ou encore de carbone renforcé, plus lourd, pour les endroits très exposés à l'échauffement, l'orbiteur est recouvert d'environ 24000 tuiles de tailles variables (généralement de l'ordre de 15x15 ou 20x20 cm). Le revêtement de carbone renforcé joue même par endroits un rôle structurel : il n'est pas juste apposé sur la surface de l'appareil, il remplit lui-même le rôle de structure rigide.



*Vue sur les tuiles du bouclier thermique sur le ventre de l'orbiteur.*

L'accident de la navette Columbia en 2003 a prouvé l'importance de l'efficacité du bouclier thermique. C'est pour cette raison qu'à l'issue de chaque mission, tout le revêtement thermique est soigneusement inspecté, et une partie des tuiles remplacée.

## 2) Les systèmes de propulsion

### a) La propulsion au décollage

Bien que l'orbiteur ait été conçu comme un avion, la navette est lancée verticalement, à la manière d'une fusée, pour atteindre l'orbite basse plus rapidement. Lors du décollage, la poussée nécessaire à la mise en orbite de l'orbiteur est fournie par les moteurs principaux de celui-ci, et par les propulseurs d'appoint qui sont largués après la première phase du décollage, assez tôt pour qu'ils ne soient pas détruits en retombant.

Les propulseurs d'appoint, appelés « Solid Rocket Boosters », prennent la forme de cylindres d'acier de 45 mètres de haut et de 3,7 mètres de diamètre. Ce sont les plus grands propulseurs à carburant solide conçus à ce jour, et les premiers propulseurs de ce type à être pensés pour des utilisations multiples. Les fusées d'appoint fonctionnent au propergol, qui est composé en grande partie de perchlorate d'ammonium (comburant) et de poudre d'aluminium (carburant). La nature de ces propulseurs qui contiennent la totalité de leur carburant fait qu'ils ne

peuvent pas être éteints : une fois allumés, ils fonctionnent jusqu'à épuisement du propergol. Il est donc important de s'assurer du démarrage correct des moteurs principaux de l'orbiteur avant la mise à feu des fusées d'appoint. Les boosters sont attachés au réservoir externe, et les points d'attache sont munis de charges explosives dans le cas où un largage d'urgence doit être effectué suite à un problème au décollage.

Un seul booster apporte avec lui une masse de 590000 kg (dont 500 tonnes de carburant solide) : les deux propulseurs représentent donc environ 70% de la masse totale de la navette au décollage, qui peut atteindre les 2000 tonnes. Cependant, les boosters sont extrêmement puissants et fournissent chacun une poussée pouvant atteindre 14 MN : cela représente environ 83% de la poussée totale développée au décollage. L'impulsion spécifique d'une fusée d'appoint est de 269 secondes.

L'orbiteur lui-même comprend trois moteurs-fusée en tant que propulsion principale. Ces moteurs pèsent environ 3500 kg chacun et sont organisés en forme de triangle équilatéral à l'arrière de l'orbiteur. Le carburant utilisé par ce système de propulsion est un mélange d'hydrogène et d'oxygène liquide cryogénisés. Ce carburant est stocké dans le réservoir externe auquel sont attaché l'orbiteur et les propulseurs d'appoint. Le réservoir fait 47 mètres de haut et possède un diamètre de 8,4 mètres, et l'hydrogène et l'oxygène liquide y sont gardés dans deux compartiments séparés. C'est le seul élément de la navette qui est perdu au cours de la mission.

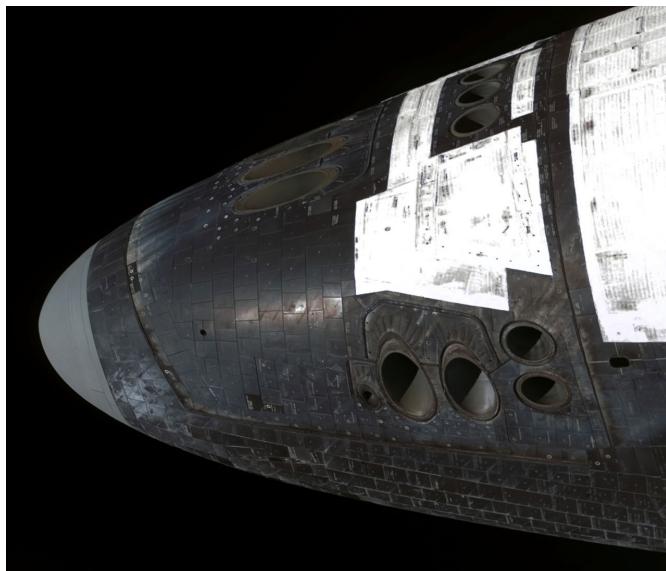
Les moteurs principaux de l'orbiteur sont parmi les plus efficaces conçus à ce jour. Ils développent chacun une poussée de 1,75 MN et atteignent une impulsion spécifique de 366 secondes au niveau de la mer, et jusqu'à 459 secondes dans le vide. De plus, les tuyères des moteurs sont partiellement inclinables, ce qui permet de corriger la trajectoire de la navette pendant le décollage. Les propulseurs principaux ne sont utilisés que lors du décollage de la navette, et ils ont une durée de vie estimée à une trentaine de lancements. Après chaque mission, les moteurs de l'orbiteur sont démontés et vérifiés avant d'être réutilisés pour un prochain lancement.

### b) Changements d'orbite et contrôle d'attitude

Une fois l'orbite souhaitée atteinte, les moteurs principaux ne sont plus utilisés pour le reste de la mission. Si des manœuvres de correction ou de changement d'orbite, de rendez-vous orbital ou de sortie d'orbite pour amorcer la descente sont nécessaires, le système de manœuvre orbitale est utilisé. Ce système est constitué de deux moteurs montés dans des nacelles placées au dessus des propulseurs principaux et en dessous de l'aileron arrière. Ces moteurs sont alimentés par des réservoirs d'ergols liquides compris dans la structure de l'orbiteur, contrairement au carburant des moteurs principaux qui est fourni exclusivement par l'extérieur. Ces moteurs n'ont pas une impulsion spécifique aussi

avantageuse que les moteurs principaux, mais ils sont conçus pour des allumages fréquents et parfois de courte durée.

Enfin, pour le contrôle d'attitude de l'orbiteur dans le vide, une troisième système de moteurs est employé : les moteurs de contrôle d'orientation, « Reaction Control System » en Anglais, sont des petits propulseurs montés dans le nez ou à l'arrière de l'appareil. Ceux de la partie arrière sont en fait montés sur les mêmes nacelles qui accueillent déjà les moteurs du système de manœuvre orbitale. Les moteurs de ce système sont de tailles variables selon les manœuvres qu'on veut effectuer. Le système de contrôle d'orientation comprend 14 moteurs normaux et deux plus petits appelés moteurs-verniens. Ces derniers sont utilisés pour des corrections très fines : ils ne disposent que d'une faible poussée et peuvent être activés pour des durées inférieures au dixième de seconde. A l'arrière de l'orbiteur, chaque nacelle comprend 12 moteurs normaux et deux moteurs-verniens.



*Vue des propulseurs du Reaction Control System dans le nez de l'orbiteur.*

### 3) Analyse des accidents du programme

A deux reprises lors du programme STS, des accidents catastrophiques ont eu lieu, entraînant à chaque fois la perte de la navette et de l'équipage. En 1986, Challenger se désagrège en vol lors du décollage et en 2003, l'orbiteur Columbia est détruit lors de son retour en atmosphère. Ces deux incidents ont occasionné une période d'environ deux ans durant laquelle le programme a été interrompu, et ont été analysés par des commissions d'ingénieurs et de techniciens pour en déterminer l'origine. Les autres navettes ont subi des modifications en conséquence pour ne pas reproduire les mêmes accidents.

### a) La perte de Challenger – 1986

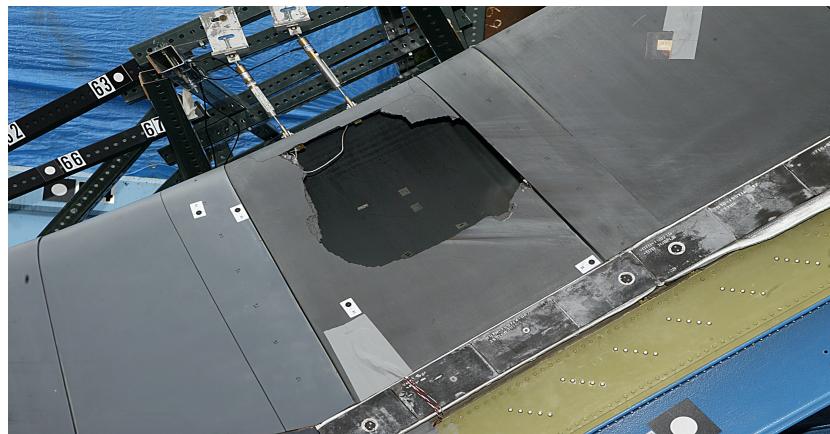
Le 28 janvier 1986, lors de la mission STS-51-L, le dixième vol de Challenger, la navette se désintègre en vol 73 secondes après son décollage, causant la mort des 7 astronautes à bord. La navette étant encore assez proche au moment de l'accident, on peut apercevoir sur les images de télévision qui poursuivent la navette que le problème s'est déclaré sur l'un des propulseurs d'appoint.

En effet, les boosters sont assemblés en plusieurs segments cylindriques maintenus en place par des centaines de rivets et deux joints. Ces joints sont très importants car lors de l'utilisation des boosters au décollage, la combustion du propergol à l'intérieur de la fusée engendre des conditions de pression et de température extrêmes, et il est alors vital que la structure soit maintenue en place sans céder sous les contraintes venant de l'intérieur. Or c'est précisément un de ces joints qui était défectueux sur le booster de droite. Du gaz à très haute température s'est échappé de la fusée et à entamé la structure du réservoir principal. Sous les contraintes aérodynamiques extrêmes que subit la navette lors de son accélération, la structure a finalement cédé et c'est l'ensemble de la navette qui s'est désagrégé.

Après cet accident, les autres vols ont été suspendus. Pendant cette période les navettes restantes ont été améliorées et les protocoles de sécurité révisés. les joints des boosters ont été modifiés : leur nombre est passé à trois et ils ont été renforcés pour ne pas réitérer l'incident. L'orbiteur Endeavour a été construit à partir de pièces de rechange destinées aux autres navettes pour remplacer Challenger, et le programme a repris en septembre 1988 avec un vol de Discovery.

### b) La perte de Columbia – 2003

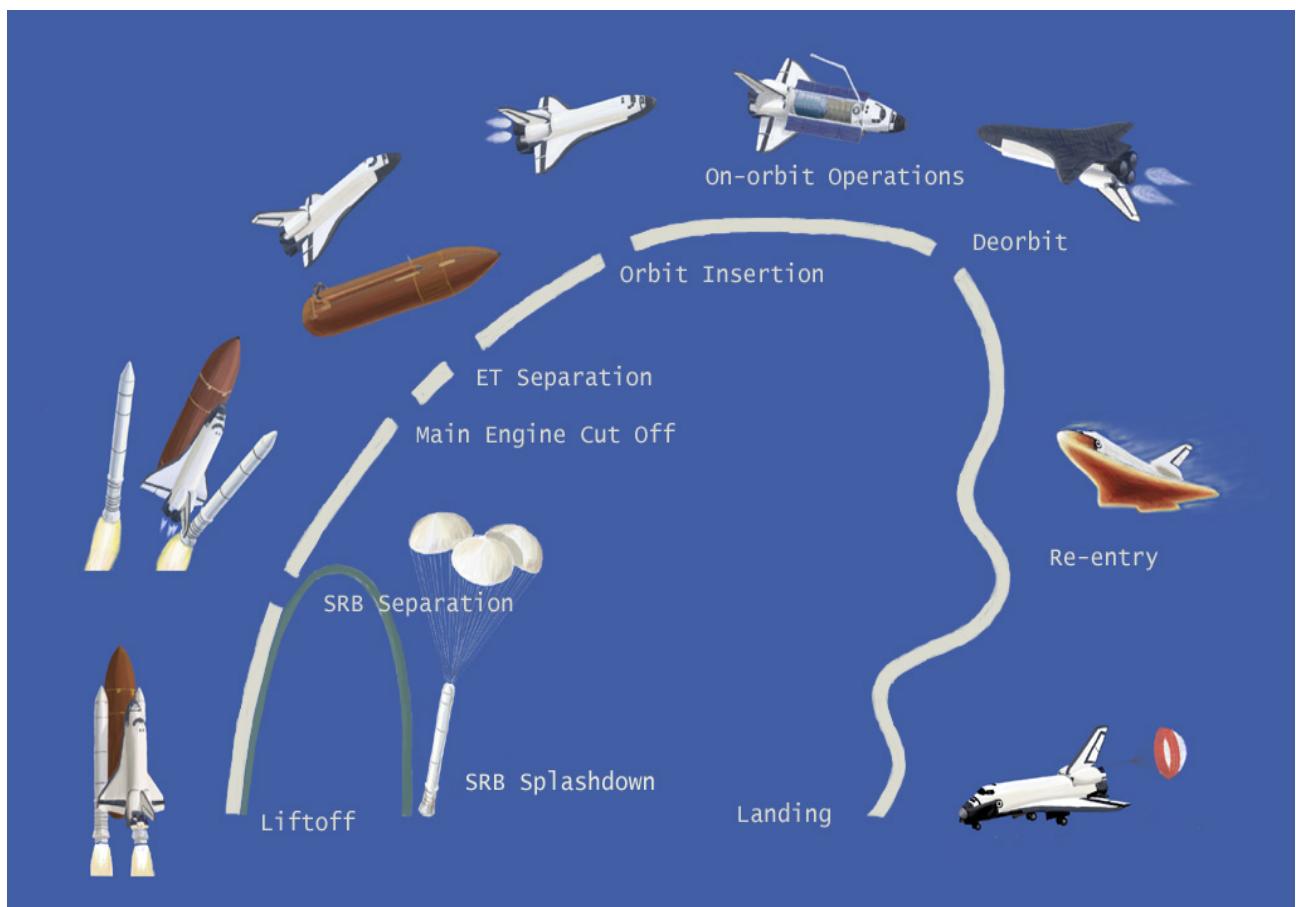
Dix-sept ans après Challenger, le 1er février 2003, lors du 28ème vol de Columbia désigné STS-107, l'orbiteur est détruit 16 minutes avant son atterrissage prévu lors du retour en atmosphère. Une fois de plus, les sept membres d'équipage sont tués. Il a été déterminé que le problème est venu du bouclier thermique. Lors du décollage de la navette plusieurs jours plus tôt, un morceau de mousse isolante recouvrant le réservoir externe s'est séparée de celui-ci et a heurté la navette. A cause de la vitesse de la navette au moment de l'impact, les tuiles de carbone renforcé du bord d'attaque de l'aile gauche ont été endommagées. Lors du retour en atmosphère, du gaz réchauffé par les frottements de l'orbiteur dans l'air a pénétré la structure de l'aile gauche par le point abîmé et a détruit l'aile de l'intérieur. L'aile a fini par s'arracher, et les contraintes aérodynamiques dues à la vitesse hypersonique de l'orbiteur l'ont immédiatement désintégré.



*Résultat d'un test d'impact sur une tuile de protection thermique.*

C'est à la suite de cet accident que l'Orbital Boom Sensor System a été mis en place sur les autres orbiteurs, afin de pouvoir inspecter l'état du bouclier thermique en orbite et éviter l'atterrissement avec des tuiles endommagées. Par ailleurs le même problème de mousse isolante qui se détache du réservoir externe s'est produit lors du vol de reprise en 2005, mais sans les conséquences dramatiques de Columbia. Columbia n'a pas été remplacée.

### III – Déroulement d'une mission



## 1) Lancement et mise sur orbite

Les moteurs principaux de la navette spatiale sont démarrés 3 secondes avant le décollage. A cause de la poussée des moteurs, la navette s'incline légèrement par rapport à la verticale.

Au moment où celle-ci se stabilise exactement à la verticale par elle-même, les propulseurs d'appoint (SRB) sont démarrés et la navette décolle.

20 secondes après le décollage, la navette entame un tonneau afin de présenter son ventre vers le ciel et celle-ci prend la direction de l'orbitale visée. La navette se met dans cette position afin de diminuer les contraintes aérodynamiques sur les ailes de l'orbiteur et pour pouvoir communiquer directement avec le centre de commande au sol grâce à son orbiteur.

2 minutes après le décollage, les propulseurs d'appoints sont largués. Chaque propulseur continue à fonctionner pendant environ 1 minute puis des parachutes se déploient afin que les propulseurs amerrissent dans l'Océan Atlantique. Ceux-ci sont ensuite récupérés et sont réutilisés. L'orbiteur quant à lui continue à prendre de l'altitude grâce à ses moteurs principaux.

6 minutes après le décollage, la navette réalise un nouveau tonneau car la communication directe avec le centre de commande devient impossible, de plus l'orbiteur a traversé la partie la plus dense de l'atmosphère et la pression a donc diminué.

7 minutes après le décollage, la poussée des moteurs principaux est réduite puis ils sont arrêtés 8 minutes et 30 secondes après le décollage. Le réservoir externe (ET) est largué. Les moteurs de correction orbitale (OMS) sont ainsi utilisés afin d'éloigner l'orbiteur du réservoir. Le réservoir externe étant largué avant l'atteinte de l'orbite souhaitée, celui-ci suit une trajectoire parabolique puis est détruit à sa rentrée dans l'atmosphère. La navette quant à elle utilise ses moteurs de correction orbitale afin d'atteindre l'orbite souhaitée.

## 2) Opérations sur orbite

L'orbiteur est dorénavant sur son orbite souhaitée, fréquemment à l'altitude de 320 km et pour certaines rares missions à celle de 650 km. La porte de la baie cargo de l'orbiteur s'ouvre afin de réaliser la mission souhaitée.

Grâce à une main mécanique, la navette va relâcher soit le satellite qu'il souhaite en orbite soit les composants de l'ISS. Concernant la construction de l'ISS, la main mécanique est utilisée, cependant celle-ci n'est pas suffisante. Un astronaute doit sortir afin de relier les composants entre eux.

Dans le module Spacelab (ou Spacehab), certaines expériences sont programmées pour se réaliser par elles-même. L'ouverture ou la fermeture de la soute permet de réaliser ces expériences dans le vide ou non.

### 3) Rentrée en atmosphère et atterrissage

Si les conditions atmosphériques et météorologiques sont réunies, le retour sur Terre est lancé. Si celles-ci ne le sont pas, le vol peut être prolongé jusqu'à ce qu'elles les soient. La manœuvre de retour est réalisée lorsque la navette spatiale se trouve à un point de l'orbite opposé à la piste d'atterrissage. La piste d'atterrissage fréquemment utilisée est la même que celle de lancement, le centre spatial Kennedy se trouvant en Floride aux États-Unis. La manœuvre de rentrée en atmosphère est réalisée par contrôle informatique et celle d'atterrissage est réalisée par l'équipage.

Une fois la mission terminée, le système informatique ferme la soute. L'orbiteur va ensuite se tourner à 180° afin que la navette orbite avec l'arrière vers l'avant et le nez vers l'arrière puis l'ordinateur enclenche les moteurs de correction orbitale afin de perdre de la vitesse. Cette perte de vitesse entraîne une diminution de l'altitude de l'orbiteur ce qui permet une sortie de l'orbite. Le carburant restant va être brûlé afin d'éviter que celui-ci ne s'enflamme lors de la rentrée.

Lorsque l'orbiteur a atteint la haute atmosphère, une manœuvre est lancée afin que le nez de celui-ci soit tourné vers le ciel et que son ventre soit tourné vers le sol. Lors de la descente, l'énergie cinétique emmagasinée va être dissipée sous forme de chaleur, cette position fait en sorte que les zones possédant une protection thermique soit celles où la chaleur se dissipe. De plus, dans cette configuration, les moteurs permettent de diminuer la vitesse de descente de l'orbiteur.

Une fois que la rentrée est réalisée, l'orbiteur peut être contrôlé comme un planeur par l'équipage. La navette va décélérer de Mach 5 jusqu'à Mach 1. A Mach 1, la pente de descente est progressivement réduite. A 10 km de la piste d'atterrissage, les aérofreins sont utilisés afin de diminuer d'autant plus la vitesse. A une altitude de 100 mètres, le train d'atterrissage est sorti. Lorsque l'orbiteur touche le sol, un parachute est libéré afin de permettre l'arrêt complet. L'avant de la navette retombe avec la décélération. L'atterrissage est terminé.

#### 4) Opérations de maintenance



*L'orbiteur Atlantis dans l'un des bâtiments de maintenance*

Dès l'atterrissement, des équipes au sol se dirigent vers la navette afin de vérifier son étanchéité et l'absence d'ergols toxiques. L'intérieur de l'orbiteur est ensuite refroidi grâce à des ventilateurs. L'équipage est enfin évacué de l'orbiteur.

Si les conditions météorologiques sont restées défavorables, la navette spatiale peut atterrir à la base aérienne d'Edwards en Californie. Cependant, cet atterrissage implique que la navette soit rapatriée afin que la maintenance soit effectuée. Pour cela, la NASA utilise un Boeing 747-100 modifié, sur lequel 3 mâts ont été rajoutés afin de fixer la navette, et la structure de l'avion a été renforcée afin de pouvoir supporter l'orbiteur. Plus que simplement accroché, l'orbiteur est aussi relié électriquement au Boeing, permettant un suivi de l'état de l'orbiteur. Des caches sont posés sur les moteurs de la navette afin que ceux-ci ne perturbent pas le vol. L'orbiteur est fixé au Boeing grâce au Shuttle Mate-Demate Device (MDD), une structure composée de deux tours métalliques. Une fois le rapatriement au centre spatial Kennedy effectué, un nouvel MDD détache l'orbiteur de l'avion.

L'orbiteur est ensuite tiré vers l'OPF (Orbiter Processing Facility). Dans ce bâtiment, chaque partie de l'orbiteur est vérifiée, les circuits électroniques sont changés et le moteur principal subit une révision. Chaque tuile de protection thermique est vérifiée une par une. Les opérations de maintenance durent en moyenne moins de 100 jours. La totalité du vol quant à lui dure en moyenne une semaine, cependant il est arrivé que des missions atteignent 17 jours.

## Conclusion : bilan et héritage du programme

Le programme de navette spatiale de la NASA est l'un des programmes spatiaux les plus importants et les plus longs qui aient eu lieu. Durant 30 ans, deux fois plus que la durée estimée du projet à son lancement, 135 missions ont été lancées pour une durée totale de presque 1323 jours passés dans l'espace pour toute la flotte de navettes. Toutes les missions ont été des succès à l'exception des désastres de Challenger et Columbia. La création du premier engin spatial à usages multiples représente une prouesse technologique remarquable. Le programme a aussi été l'occasion pour la NASA de collaborer avec d'autres pays dans le domaine des activités spatiales, notamment avec les missions Spacelab D1 et D2 financées par l'Allemagne, la mission Spacelab J financée par le Japon, ou encore lors des amarrages à la station Mir.

La polyvalence de la navette spatiale lui a permis de remplir un large éventail d'objectifs techniques et scientifiques au cours de sa carrière. Avec sa soute de grande taille et son bras articulé, l'orbiteur se prête à l'envoi de satellites en orbite, mais aussi à leur récupération (c'est le seul véhicule spatial capable de ramener au sol un satellite depuis l'orbite terrestre), à des missions de maintenance sur d'autres systèmes spatiaux (Hubble), ou encore à des missions scientifiques à l'aide de modules tels que Spacelab. L'un des principaux objectifs que la navette a rempli est l'assemblage de la Station Spatiale Internationale.

Malheureusement, malgré les succès techniques indéniables de la navette spatiale, les objectifs financiers du programme n'ont pas été atteints, alors qu'il s'agissait au départ de la raison principale de la mise en place du projet. Le développement des navettes a coûté plus cher qu'initialement prévu, et la NASA n'a jamais atteint le rythme de lancements de missions sur lequel elle avait compté au départ. Les économies que la NASA espérait faire avec son système réutilisable n'ont jamais été faites, bien au contraire. Aujourd'hui le coût total du programme a été calculé à 196 milliards de dollars, avec chaque lancement qui coûtait environ 450 millions de dollars.

La fin du programme de navettes spatiales marque aussi la fin de l'époque où toutes les activités spatiales des États Unis sont effectuées par une seule organisation et un seul véhicule. A partir de 2012 le ravitaillement de l'ISS est effectué en partie par des compagnies privées.

Les orbiteurs qui ont survécu ont été déplacés dans des musées où ils sont accessibles au public. On peut voir Enterprise au Intrepid Sea, Air and Space Museum à New-York, Discovery se trouve au National Air and Space Museum à Washington D.C, Endeavour a été amenée au California Science Center de Los Angeles, et Atlantis est restée au Kennedy Space Center après son dernier vol.

## Bibliographie :

- <http://www.spaceline.org/rocketsum/shuttle-program.html>
- <https://archive.org>
- <http://naca.larc.nasa.gov>
- <http://history.nasa.gov>
- <http://science.howstuffworks.com/space-shuttle7.htm>
- Wikipédia